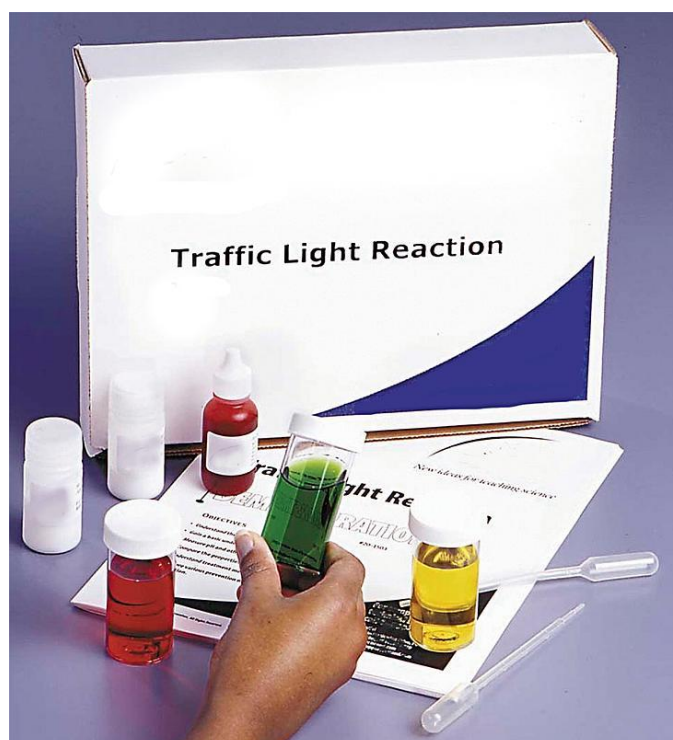


## Ampel-Reaktion



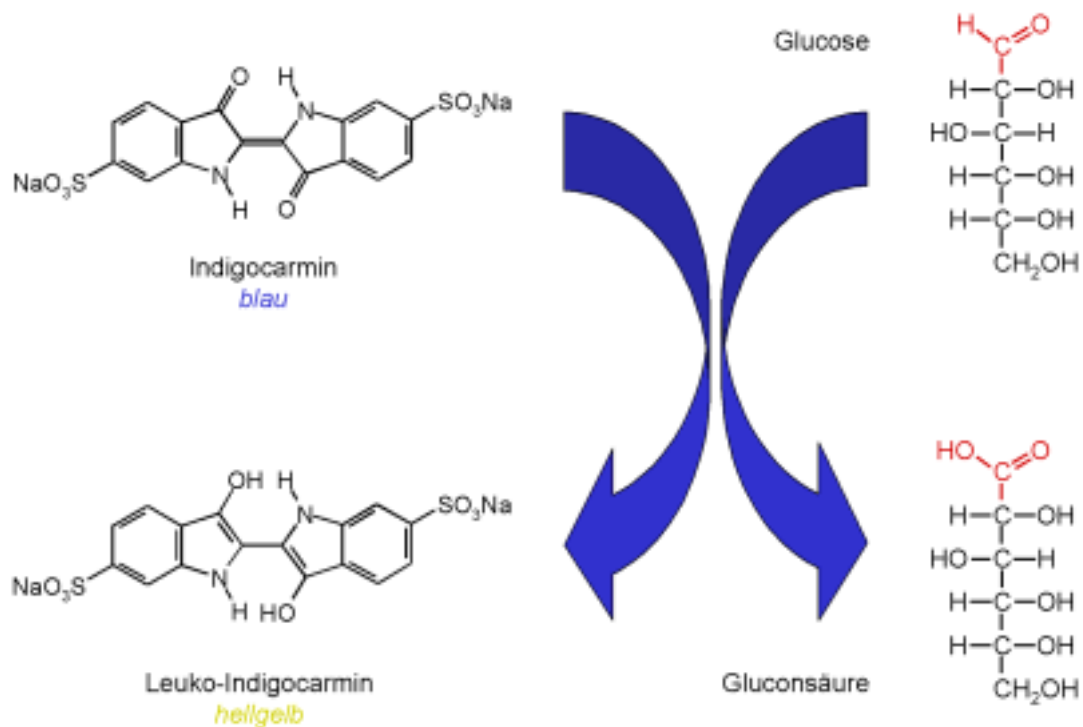
### Kurze Beschreibung:

Eine blaue Glucoselösung mit Indigocarmin färbt sich bei der Zugabe von Natronlauge grün, dann nach einiger Zeit rot; etwas später gelb. In der alkalischen Lösung fällt die Ringöffnung der Glucose leichter und sie entfaltet ihre ganze Reduktionskraft. Die Glucose reduziert das blaue Indigocarmin zur gelben Leukoform und wird dabei unter anderem zur Gluconsäure oxidiert. Die grüne Farbe ist das Resultat einer Mischung von blauem Indigocarmin und gelbem Leuko-Indigocarmin; die rote Farbe ist dadurch zu erklären, dass die Reaktion über eine radikalische Zwischenstufe läuft. Deren Bildung könnte in Analogie zu dem Zerfall des Chinhydron in alkalischer Lösung in 2 mesomeriestabilisierte Semichinone ablaufen. Beim Umschütten kommt die Lösung in intensiven Kontakt mit Luftsauerstoff, der die Leukoform wieder oxidiert; die Lösung wird wieder grün, dann rot, dann gelb. Der Vorgang lässt sich einige Male wiederholen, wobei die Lösung immer blasser wird. Das hat damit zu tun, dass wässrige Lösungen des Wollfarbstoffes Indigocarmin sehr lichtempfindlich sind. Außerdem ist die Oxidation der Glucose zur Gluconsäure und anderen Produkten irreversibel.

**Zum Versuch**

**a) Die Farbänderung:**

Es handelt sich um eine Redoxreaktion. Der Farbstoff wird bei der oben durchgeführten Reaktion zum „Leuko“-Indigocarmin (in wässriger Lösung goldgelb) reduziert (siehe Abb.1). Als Reduktionsmittel bzw. Elektronenlieferant dient dabei Glucose, welche zu Gluconat oxidiert wird. Das Grün entsteht aus einer Mischung von reduziertem und oxidiertem Indigocarmin [5].



**Abb. 1: Reduktion von Indigocarmin mit Glucose [5]**

Dabei kommt es zu einer radikalischen Zwischenstufe, welche rot erscheint (siehe Abb.2). Die Bildung könnte in Analogie zu der Chemie der Chinhydrone ablaufen. In alkalischen Medien sind diese unbeständig und zerfallen in ein Semichinon-Anion, unter Übertragung eines Elektrons auf ein noch nicht reduziertes p-Benzochinon. Die Semichinon-Anionen zählen zu den Radikal-Anionen und sind mesomeriestabilisiert. Das ungepaarte Elektron ist über sämtliche C- und die beiden O-Atome delokalisiert [4].

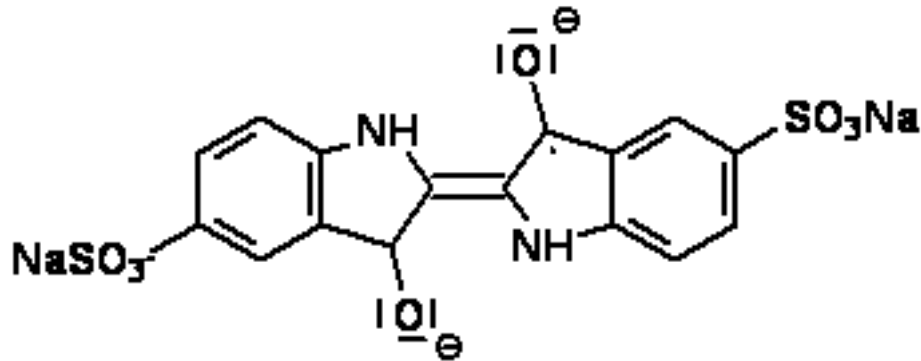


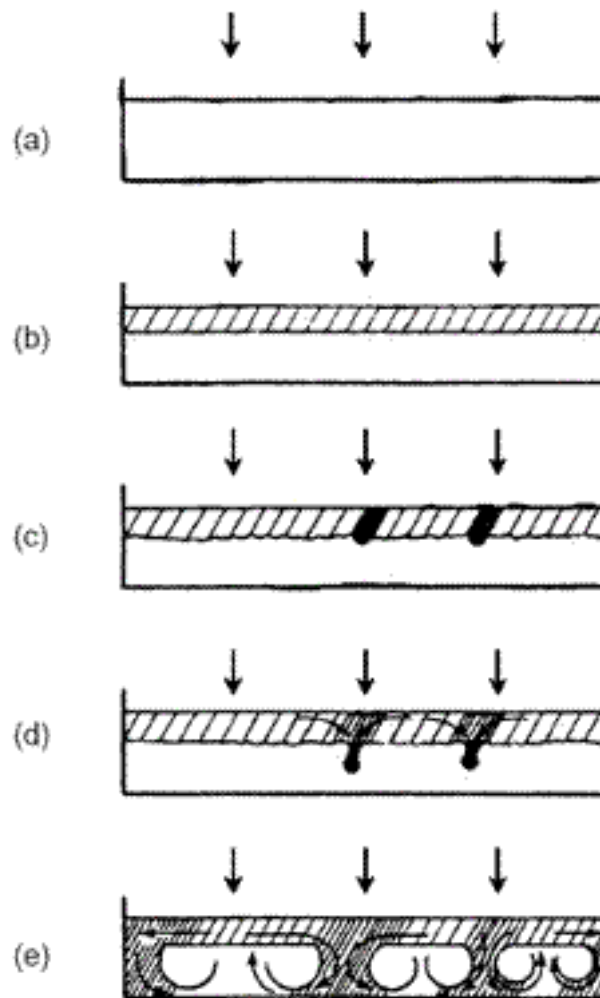
Abb. 2: Radikalanion [5]

**b) Die Strukturbildung:**

Zu strukturbildenden Phänomenen gibt es sehr viele Theorien. Die stattfindenden Phänomene werden durch Unterschiede in der Oberflächenspannung, Temperaturgradienten (Bernard-Effekt) oder durch Dichtegradienten erklärt. Eine gute Erläuterung der Theorien bietet die Dissertation von Holger Kunz: "Prinzipien der Selbstorganisation":

<http://docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/2001/kunpri01/pdf/kap04.pdf>

Für den Versuch "Herbstlaub" scheint die Ausbildung der konvektiven Bewegung des Schlierenmusters vorrangig die Folge von entstehenden Dichtegradienten zu sein, ohne große Beteiligung eines Gradienten in der Oberflächenspannung. Dadurch entsteht die durch Fluktuation hervorgerufene Musterbildung, nach dem von AVNIR und KAGAN beschriebenen Mechanismus (Siehe Abb.2).



**Abb. 3 Verlauf der Strukturbildung laut AVNIR und KAGAN [6]**

Der Zustand in Abb.3a zeigt die Verhältnisse vor dem Reaktionsstart, nach der Ansicht von AVNIR und KAGAN unabhängig von der Art der Reaktion. Die Lösung ist homogen und in Ruhe. Die Abb.3b zeigt den Reaktionsbeginn über der gesamten Oberfläche. Nach ca. 1min treten Linien hoher Konzentration auf, was in Abb.3c durch dunkle Färbungen veranschaulicht ist. Das Produkt sinkt an diesen Stellen in das Lösungsinnere ab (Abb.3d). Für den Fall, dass sich die Grenzfläche am Boden befindet, steigt das Produkt auf. Bei relativ geringer Lösungstiefe (ca. 15mm) führen die absinkenden Produkte eine hydrodynamische Rollenbewegung aus (Abb.3e). Die Dynamik ist mit dem Auge kaum wahrzunehmen, so dass man die Muster als "stehende Strukturen" wahrnimmt. Im Zeitraffer ist die Bewegung zu erkennen. [6]

Die unterschiedliche Färbung der Linien im Herbstblatt ist durch die Reoxidation an Luftsauerstoff zu erklären (siehe Abb.4). Die Linien sind in der Lösung die am weitesten oben gelegenen Schichten und kommen am ehesten mit der Umgebung in Kontakt. Die Leukoform des Indikators wird wieder zurück oxidiert zu Indigocarmin. Es liegt also eine

Ampel-Reaktion – Best.-Nr.1093078

Mischung von oxidiertem und reduziertem Form vor, welche je nach Mischungsverhältnis eine andere Farbe geben. Die Dynamik in der Flüssigkeit (z.B. durch unvermeidbare äußere Störungen) verstärken den Effekt der inhomogenen Verteilung der oxidierten Teilchen noch.

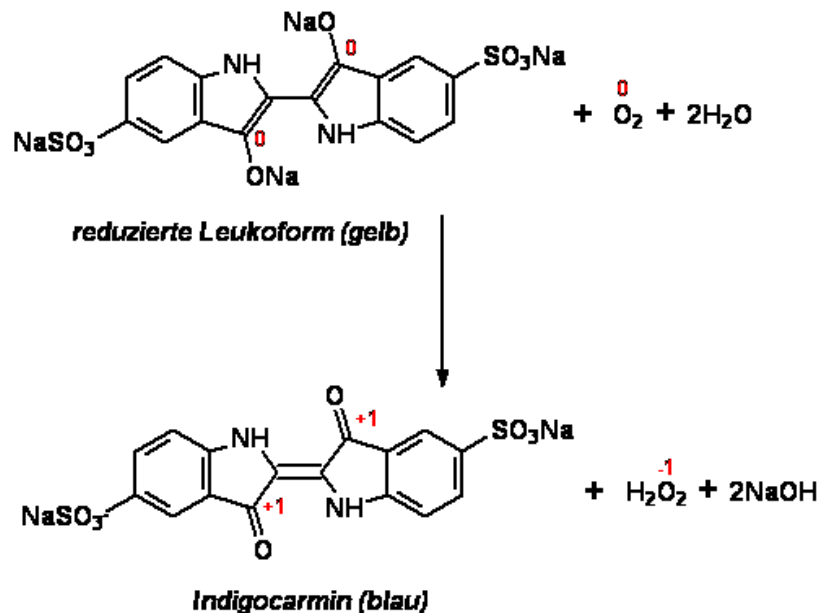


Abb. 4: Oxidation von Indigocarmin durch Luftsauerstoff [5]

### Widersprechen strukturbildende Prozesse nicht dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik?

Wie kann die offensichtliche Zunahme an Ordnung bei solchen spontanen Strukturbildungen, fraktalen Strukturen bzw. in der belebten Welt mit der vom 2. Hauptsatz prophezeiten "zerstörerischen Kraft" der Entropie vereinbart werden? Die Frage nach der Dissonanz zwischen dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik und der Entstehung des Lebens hat sich in den letzten Jahren zu einem rasant wachsenden interdisziplinären Forschungsgebiet entwickelt.

Die grundsätzliche Entstehung solcher dissipativer Strukturen ist durch den Entropieexport in die Umgebung zu erklären. Man betrachtet also die Summe aus Systementropie und Umgebungsentropie und erkennt, dass der 2. Hauptsatz in der Formulierung für Gesamtsysteme erfüllt wird, wenn der Betrag der Systementropieabnahme durch den Betrag der Umgebungsentropiezunahme überkompensiert wird. [6]

**Quellen- und Literaturangaben:**

1. Falbe, J., Regitz, M.: Römpp Chemie Lexikon, 9. Aufl., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1991, S. 1965
2. <http://www.omikron-online.de/cyberchem/cheminfo/7103-lex.htm>, 22.02.06
3. <http://www.dutly.ch/indigohtml/indigo1.html>, 22.02.06
4. Beyer, H., Walter, W.: Lehrbuch der organischen Chemie, 19. Aufl., S. Hirzel Verlag Stuttgart, 1981, S. 484
5. organische Chemie, Uni Bayreuth
6. Kunz, H., Dissertation: <http://docserver.bis.uni-oldenburg.de/publikationen/dissertation/2001/kunpri01/pdf/kap04.pdf>, 22.02.06
7. cke: spektakuläre Experimente und geistreiche Zitate / H. W. Roesky ; K. Möckel

**Im Kit enthaltene Materialien:**

- 3 g Glucose
- 5 g Natriumhydroxid
- 30 ml Indigocarmin-Indikator

**Benötigte Materialien (nicht im Kit enthalten):**

- Waage
- 250 ml Flasche
- 500 ml Flasche
- Graduierter Zylinder
- Wasserfester Stift
- Stopfen für 250 ml Flasche

**Dauer des Experiments:**

- 20 min

**Sicherheitshinweise:**

- Lesen Sie die Sicherheitsdatenblätter vor Beginn des Versuchs
- Tragen Sie geeignet Schutzkleidung bei der Durchführung
- Berühren Sie mit Schutzhandschuhen weder Haut noch Mund
- Essen und Trinken Sie nicht im Labor
- Schminken Sie sich nicht im Labor (verschiedene Stoffe können durch Cremes auf der Haut gebunden werden und so Reizungen verursachen)

**Sicherheitshinweise zu den verwendeten Chemikalien:**

- Glucose (Kontakt mit starken Oxidationsmitteln vermeiden)

- Natriumhydroxid (Kontakt mit Haut, Mund, Augen vermeiden – es können Verbrennung entstehen. Kontakt mit Metallen und Wasser vermeiden – es kommt zu unvorhersehbar starken Reaktionen)
- Indigocarmin-Indikator (REIZEND! – Kontakt mit starken Oxidationsmitteln, Haut, Augen und Schleimhäuten vermeiden!)

**Vorbereitungen:**

- 3 g Glucose und 5 g Natriumhydroxid in einer 500 ml Flasche in 250 ml Wasser lösen (VORSICHT! Stark exotherme Reaktion – unbedingt das Natriumhydroxid in das Wasser geben und nicht umgekehrt)
- Von dieser Lösung 50 ml in die 250 ml Flasche geben (Lösung A)

**Versuchsablauf:**

- Geben Sie 10 ml der Indigocarmin-Indikator-Lösung in die 250 ml Flasche, welche bereits 50 ml Lösung A enthält
- Warten Sie, bis sich die Lösung nach GELB verfärbt (Reduktion)
- Verschließen Sie die Flasche mit einem Stopfen und schwenken Sie die Flasche sanft
- Die Lösung verändert ihre Farbe nach ROT (sollte kein Farbumschlag auftreten, geben Sie etwas mehr Indigocarmin-Indikator-Lösung zu)
- Jetzt schütteln Sie die Flasche stärker, wodurch vermehrt Sauerstoff in die Lösung gelangt – sie verfärbt sich nach GRÜN

**Fragen:**

- Welcher Bestandteil wirkt als Oxidationsmittel in der vorliegenden Reaktion?
- Was wird oxidiert?
- Welcher Bestandteil wirkt alkalisch?
- Handelt es sich bei der vorliegenden Reaktion um eine Redox-Reaktion?
- Was wird oxidiert, was reduziert?
- Was passiert wenn der Stopfen auf der Flasche bleibt und diese nicht mehr bewegt wird?
- Erkläre die einzelnen Reaktionen zum jeweiligen Farbumschlag

**Lösungen:**

- Welcher Bestandteil wirkt als Oxidationsmittel in der vorliegenden Reaktion?  
*Sauerstoff aus der Umgebungsluft*
- Was wird oxidiert?  
*Der Indigocarmin-Indikator*
- Welcher Bestandteil wirkt alkalisch?  
*Natriumhydroxid*
- Handelt es sich bei der vorliegenden Reaktion um eine Redox-Reaktion?  
*Ja*
- Was wird oxidiert, was reduziert?  
*Die Indikatorlösung*
- Was passiert wenn der Stopfen auf der Flasche bleibt und diese nicht mehr bewegt wird?  
*Die Reaktion wird umgekehrt. Da dem Reaktionsgemisch kein neuer Sauerstoff zugeführt wird reduziert die Glucose in der Lösung den Indikator und die Lösung färbt sich zurück nach GELB*
- Erkläre die einzelnen Reaktionen zum jeweiligen Farbumschlag  
*Schritt 1:*

*Nach Zugabe des Indigocarmin-Indikators zu der Lösung wird dieser von Glucose reduziert. Diese reduzierte Form hat eine gelbe Farbgebung.*

*Schritt 2:*

*Führt man dem Reaktionsgemisch Sauerstoff zu wird der Indikator oxidiert. Die oxidierte Form hat eine rote Farbgebung.*

*Schritt 3:*

*Starkes Schütteln der Flasche erhöht die Sauerstoffzufuhr im Reaktionsgemisch und führt zur weiteren Oxidation des Indikators, dessen Farbgebung (bei fast vollständiger Oxidation) grün ist.*

*Dieser Prozess ist reversibel.*